

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-326860

(43)Date of publication of application : 26.11.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/13

G02B 5/18

(21)Application number : 10-135572

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 18.05.1998

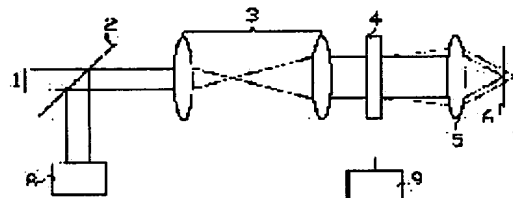
(72)Inventor : KAJIMA SHINGO
ISHIWATARI YUTAKA

(54) WAVE FRONT CONVERTING ELEMENT AND LASER SCANNER USING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wave-front converting element and a laser scanner using it, which can scan focal positions of a luminous flux in the direction of the optical axis without using mechanical mechanism, and offsetting the aberration caused in such a case.

SOLUTION: This laser scanner has a luminous flux branching element 2 arranged in an optical path of a laser beam flux 1, a beam expander 3, a wave-front converting element 4 capable of changing a wave-front form of the light as necessary, an object lens 5 for converging the light on a specimen side 6, a detector 8, and a control device 9. The wave-front converting element 4 consists of liquid crystal elements constituted so that each micro-divided region can be controlled independently by a control device 9.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.04.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The wave-front sensing element to which it might be made to have made it the wave-front configuration of light which penetrates that or is reflected from there by consisting of the liquid crystal device constituted so that each field divided minutely might be controlled independently, and changing the phase of each of said field change suitably.

[Claim 2] Said each field is a wave-front sensing element according to claim 1 which is making the shape of the shape of a matrix, and a sector.

[Claim 3] The laser scanner characterized by providing the optical element which may offset the aberration generated with said scan in the laser scanner makes a sample location condense the outgoing radiation light from laser using optical system, and it was made to make the condensing location scan in the direction of an optical axis.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the laser scanner using the wave-front sensing element which can change the wave-front configuration of light into arbitration, and this component.

[0002]

[Description of the Prior Art] In order to obtain the three-dimension image of a sample in the former, for example, a scanning laser microscope, the sample or the objective lens needed to be mechanically moved in the direction of an optical axis, and the optical image in each field inside a sample needed to be incorporated one by one. However, for mechanical displacement, this approach was difficult for implementation of a scan of the direction of an optical axis exact in respect of a position control error, repeatability, etc., and in a sample scan, when the sample became large, there was a problem of rapid scanning not being made. Furthermore, if an objective lens is scanned when a sample soaks an objective lens in a direct living body or culture medium by a living body sample etc. and observes a motion of a high-speed living body, it will have bad influences, such as vibration, on the sample to observe, and is not desirable. Moreover, when the refractive index of the immersion medium of an objective lens differed from the refractive index of a sample, there was a trouble which says that resolution will fall according to the aberration (spherical aberration) generated with migration of a condensing location.

[0003] On the other hand, as an optical element to which power (wave-front configuration) can be changed, what combined a liquid crystal lens, a liquid lens, or them is known, and there are some which are indicated by JP,5-93895,A, 5-100201, the 5-53089 official report, etc. as an approach of changing a focal distance and a focal location especially using liquid crystal. Moreover, although there are some which were indicated by JP,9-318909,A etc. as an approach of changing a scale factor using liquid crystal, each of these examples of precedence arranges an electrode in the shape of zona orbicularis as a means to change the optical property of a liquid crystal lens, and the approach of controlling the electrical potential difference impressed to this is used. In addition, when a liquid crystal lens is used combining two or more of other optical system, about whether what we do with the aberration generated as a whole, reference is not made at all by these examples of precedence by having changed power.

[0004] Moreover, although indicated by JP,8-114703,A etc. about the liquid lens, when this is also used combining two or more optical system, about whether what we do with the aberration generated as a whole, reference is not made at all by having changed power.

[0005] Moreover, when using for a telescope about adaptive OPUTISUKU, for example, It is used in order to offset turbulence of the wave front of the light by fluctuation of atmospheric air. Moreover, only by being used in order to offset turbulence of the wave front of the light at the time of light passing a sample etc. also when using for a microscope, and being used in the viewpoint called offset of the wave front (aberration) confused to the last It is not used in the viewpoint referred to as changing the focal location of optical system by giving it power. Furthermore, it is not shown in the viewpoint of aberration amendment how aberration amendment is performed concretely.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The place which this invention is made in view of such a trouble and the actual condition that a Prior art has, and is made into the purpose is to offer the laser scanner using the wave-front sensing element and it which offset the aberration which the condensing location of the flux of light can be made to scan in the direction of an optical axis, without using a mechanical device, and is generated in that case, and can reduce the condensing engine performance and the image-formation performance degradation accompanying a scan.

[0007]

[Means for Solving the Problem] Since the above-mentioned purpose is attained, the wave-front sensing element by this invention may have comes to change suitably the wave-front configuration of light which penetrates that or is reflected from there by consisting of the liquid crystal device constituted so that each field divided minutely might be controlled independently, and changing the phase of each of said field.

[0008] According to this invention, each above-mentioned field is making the shape of the shape of a matrix, and a sector.

[0009] Moreover, in order to attain the above-mentioned purpose, the laser scanner by this invention makes a sample location condense the outgoing radiation light from laser using optical system, and is characterized by equipping the optical element which may offset the aberration generated with said scan in the laser scanner it was made to make the condensing location scan in the direction of an optical axis.

[0010]

[Embodiment of the Invention] It precedes explaining the operation gestalt of this invention hereafter, and the aberration (spherical aberration) generated with said scan of the direction of an optical axis and the aspheric surface property for offsetting it will be explained using drawing 1.

[0011] Since collapse of the light wave side at the time of making it defocus by the aplanatic lens generally becomes so large that it goes to the place (it will be a periphery if it thinks with a pupil) of NA (numerical aperture) where the degree of the collapse is big symmetrically with the upper and lower sides (before or after) across a focal location, it is necessary to strengthen aspheric surface power for offsetting it as it separates from an optical axis so that it goes on the outskirts namely. In drawing 1, in order to make it intelligible, the travelling direction of light is drawn contrary to the actual condition. That is, it is drawn as that in which light appears from the location defocused the focal location of an objective lens, and before and after that. More here than an objective lens, the flux of light which came out from the focal location F of an objective lens becomes the collimation light of non-aberration, i.e., a plane wave, and carries out outgoing radiation. On the other hand, since the deflection in the large part (periphery of the flux of light) of NA become large under the effect of aberration, in order for the wave front to return this, the collimation light, i.e., the plane wave, of non-aberration, the optical element which have a property equivalent to an aspheric lens with which the concave power become strong be needed, although the flux of light which came out of the point A defocused to the before side turn into the convergence flux of light and outgoing radiation be carry out from an objective lens, so that it go on the outskirts with concave power.

[0012] On the contrary, since the deflection in the large part of NA becomes large under the effect of aberration, in order for the wave front to return this to the collimation light of non-aberration, the optical element which has a property equivalent to an aspheric lens with which the convex power becomes strong is needed, although the flux of light which came out of the point B defocused to the backside serves as emission light, so that it goes on the outskirts with convex power. If you are going to make it condense collimation light with a single lens generally, since power becomes strong as it goes on the outskirts, in a heavy-gage common spherical lens, spherical aberration will occur in the focal location. In order to amend this, it is common knowledge that it may be made to condense by non-aberration when making it the power become weak so that it is made the aspheric surface and goes on the outskirts, but when offsetting the aberration generated by defocusing, it becomes contrary to this.

[0013] Although an actual objective lens etc. is not necessarily non-aberration, when using a highly precise objective lens which is used for a laser beam microscope by quasi-monochromatic light like a laser beam, it may become **** aberration, and you may think that the above-mentioned theory is applicable. Moreover, since spherical aberration occurs towards a beam-of-light angle becoming loose by the interface when the refractive index of the immersion medium of an objective lens is smaller than the refractive index of a sample (a sample underwater with a dry objective lens is observed), it is necessary to make aspheric surface power for offsetting it so strong that it go on the outskirts, and it needs the too above aspheric surface properties. Furthermore, since the yield of aberration becomes large with NA of an objective lens, and the increment in the amount of optical-axis directional movements of a condensing location, the amount of aspheric surfaces for offsetting the aberration will also increase according to it.

[0014] Moreover, since spherical aberration occurs towards a beam-of-light angle becoming tight by the interface when the refractive index of the immersion medium of an objective lens is larger than the refractive index of a sample (a sample underwater by the oil immersion objective lens is observed), the aspheric surface property for offsetting it is made so weak that it goes on the outskirts, namely, it is necessary to make it smaller than the power of the spherical surface with the same paraxial curvature. This is contrary to the direction which offsets collapse of the wave front at the time of making it defocus.

Although the aberration by the refractive-index inequality is smaller than the aberration by defocusing, and the aspheric surface property which offsets synthetic aberration may become large in the small thing of NA as the power separates from an optical axis. Generally, it is used in order that an oil immersion objective lens may enlarge NA, since the yield of the aberration by the refractive-index inequality is very large, synthetic aberration has the inclination of aberration generating by the refractive-index inequality, and the aspheric surface property which offsets it becomes small as the power separates from an optical axis. Furthermore, since the yield of aberration becomes large with NA of an objective lens, and the increment in the amount of optical-axis directional movements of a condensing location, the amount of aspheric surfaces for offsetting the aberration also increases in connection with it, and the difference (the amount of deviations) with the spherical surface with the same paraxial curvature becomes large.

[0015] Next, a basic configuration and an operation of this invention are explained using drawing 2. It is the control unit with which the flux of light by which outgoing radiation was carried out from the laser which one does not illustrate, the wave-front sensing element to which a flux of light branching component and 3 can change a flux of light wave front into a beam expander, and 2 can change 4 into the configuration of arbitration, the defocusing location which separated from 5 in the direction in which an objective lens and 6 were separated from the focal location (sample side in usual) of an objective lens 5, and 7 separated from the objective lens 5 rather than the focal location 6, and 8 drive a photodetector among drawing, and 9 drives a wave-front sensing element.

[0016] In drawing 2, the flux of light 1 is condensed with an objective lens 5, after being collimated by desired magnitude with a beam expander 3 after passing the flux of light branching component 2, carrying out incidence to the wave-front sensing element 4 and making a control unit 9 transform a wave front suitably here. In this case, the wave-front sensing element 4 is controlled by the control unit 9, and when wave-front deformation which serves as a diffusion beam at the flux of light 1 is given, the flux of light 1 is made to condense, although the flux of light 1 is made to condense by the focal location 6 when controlled not to make the wave-front sensing element 4 completely transform a wave front with a control unit 9 by the defocusing location 7.

[0017] Usually, since it is designed so that it may condense by **** aberration in the focal location 6 when a collimation beam carries out incidence of the objective lens 5, when a diffusion beam and a convergence beam carry out incidence, the condensing location not only shifts, but it will generate aberration. Then, the wave-front sensing element 4 may have comes to transform the wave front of a beam so that it may have an aspheric surface property and the generated aberration may be offset. In this case, the wave-front sensing element 4 continues throughout an emission beam to a convergence beam, a wave front is made to transform continuously, and if the aberration generated in coincidence in that case is offset, the scan of the direction of an optical axis of the condensing location of an incident beam will become always possible in the state of non-aberration. An optical path is reversed, it is reflected with the flux of light branching component 2, and the light (reflected light, fluorescence, etc.) which emits from a condensing location in the case of a laser scanning microscope is detected by the detector 8.

[0018] Hereafter, based on the example illustrating the operation gestalt of this invention, it explains more concretely.

Example 1 drawing 3 is the outline block diagram of the 1st example of the laser scanner concerning this invention. The same sign is given to the same member on having used by drawing 2, and parenchyma among drawing. Although a fundamental configuration is the same as what showed this example to drawing 2 and illustration is omitted, a scan within the same specimen plane is performed by moving a stage. Moreover, the detection system is the confocal lens 10 and the so-called confocal system which used the confocal pinhole 11. Furthermore, the wave-front sensing element 4 which can change a wave front into the configuration of arbitration consists of diffraction lenses which consist of the liquid crystal device by which the homogeneous type was subdivided, and is controlled by this example with the liquid crystal control unit 9.

[0019] A homogeneous type liquid crystal device can be used as a phase modulation component, when the phase can be controlled between 2π from zero according to the magnitude of the electrical potential difference impressed and this is used as an optical element. Moreover, since a phase is controllable between 2π from zero, when a phase is reversed and it thinks as a lens element by reversing the property, it means that it is possible to reverse a concave lens from a convex lens. In addition, this liquid crystal device of each component being independently controllable is the same as that of the usual liquid crystal, even when arranged the shape of a matrix, and in the shape of a sector.

[0020] Drawing 4 is a conceptual diagram at the time of the liquid crystal with which the homogeneous type

was subdivided realizing a diffraction lens. Generally, although a diffraction lens controls a radial configuration (pitch) and a radial phase and is manufactured, the information (the configuration and phase data in a spherical coordinate system) is convertible for matrix information (the configuration and gradation in a Cartesian coordinate system), or polar-coordinate information (the configuration and gradation in a spherical coordinate system). The gradation in this case is not the gradation of the usual light and darkness but the phase gradation between 2 from zero π . Conversely, if it thinks, by controlling the phase gradation of each component of the subdivided liquid crystal, the diffraction lens of arbitration can consist of subdivided liquid crystal.

[0021] As a diffraction lens is shown in drawing 5, when it is the configuration (the so-called kino form) from which even the location where a phase becomes 2π from the location of zero serves as a straight line, diffraction efficiency becomes 100% theoretically. However, when it constituted a diffraction lens from subdivided liquid crystal, it is impossible to make it kino form and it was made to approximate in stairway. If there are a number with a pitch sufficient in the pitch in a large part of liquid crystal devices, a configuration equivalent to abbreviation kino form is realizable, but since the number of the liquid crystal devices which enter into it decreases, it becomes coarse stairway approximation in the small place of pitches, such as a periphery. In this example, the configuration of a diffraction lens is limited so that at least four liquid crystal devices may enter even into a minimum pitch. Therefore, even when it is the worst, it becomes four-step approximation of kino form, and about 81% of diffraction efficiency can be realized. Although this value hardly becomes a problem practically also by general optical system, since the unnecessary degree light which was increased by decline in diffraction efficiency in the case of this example is cut at the confocal pinhole 11 in the case of detection, it does not become a problem at all.

[0022] Example 2 drawing 6 is the outline block diagram of the 2nd example of the laser scanner concerning this invention. The same sign is given to the same member among drawing on what was used by drawing 2, and parenchyma. This example applies this invention to the confocal laser scanning microscope for fluorescence observation of a beam scanning method. Although the wave-front sensing element (diffraction lens by the subdivided liquid crystal) is prepared into the incidence laser beam bundle and the detection optical path, respectively and it has the description at linkage and the point controlled independently with two liquid crystal control units 9 The liquid crystal diffraction lens for excitation light in 12 (wave-front sensing element), the dichroic mirror with which 13 penetrates a laser beam and fluorescence is reflected, As for the signal-processing system which the scanning optical system which scans 14 in the direction of X-Y, and 15 equipped with the pupil projection lens and the liquid crystal diffraction lens for [16] fluorescence in an image formation lens and 17 (wave-front sensing element), and 18 equipped with the scale-factor fluctuation amendment device, and 19, a display and 20 are image preservation equipment.

[0023] The flux of light 1 which carried out outgoing radiation from laser is collimated by desired magnitude with a beam expander 3, and carries out incidence to the liquid crystal diffraction lens 12. The beam which was able to change the wave-front configuration here penetrates a dichroic mirror 13, and is scanned by X-Y both directions by the scanning optical system 14. It is condensed by the focal location of the image formation lens 16 with the pupil projection lens 15, and the scanned beam is scanned in the direction of X-Y on the sample side 6 with the image formation lens 16 and an objective lens 5. An optical path is reversed, it is reflected with a dichroic mirror 13, and the fluorescence from the sample side 6 excited by the condensed excitation beam is detected by the detector 8 through the liquid crystal diffraction lens 17, the confocal lens 10, and the confocal pinhole 11 for fluorescence. The detected signal is displayed on a display 19 through a signal-processing system 18, and is saved to image preservation equipment 20 at coincidence.

[0024] By control of the liquid crystal diffraction lens 12 for excitation light, it is the same as that of the 1st example that the scan of the direction of an optical axis is performed by **** aberration, and the diffraction lens respectively optimized about the excitation light and the fluorescence from which wavelength differs by interlocking the liquid crystal diffraction lens 17 for fluorescence prepared in detection optical system, and controlling it can be constituted. However, in this example, since the liquid crystal diffraction lens 12 is not necessarily arranged in the pupil of an objective lens 5, and a location [**** / completely], the focal distance (scale factor) of the whole system changes a little by giving power to a liquid crystal diffraction lens here. When an optical slice image is taken, the magnitude of an image changes and a three-dimension image is built with a slice location, it stops therefore, reproducing the configuration of a sample faithfully the way things stand. However, since the scale-factor fluctuation accompanying the scan of the direction of an optical axis is calculable if optical system is known, amendment is applied to the detected signal in the electrical and electric equipment and software, and it becomes possible about scale-factor fluctuation to

build phase murder and a three-dimension image faithful to the configuration of a sample.

[0025] Example 3 drawing 7 is the outline block diagram of the 3rd example of the laser scanner concerning this invention. The same sign is given to the same member among drawing on what was used in the example as stated above, and parenchyma. In order that this example may apply this invention to the multiphoton excitation fluorescence microscope of a beam scanning method and may lose the scale-factor fluctuation accompanying the scan of the direction of an optical axis, it prepares the diffraction lens by the liquid crystal subdivided by the location which projected the pupil location of an objective lens 5 by relay optical system, and has the description at the point that it was controlled by the liquid crystal control unit 9. As for a liquid crystal diffraction lens (wave-front sensing element) and 22, 21 are [pupil relay optical system and 23] detection optical system among drawing.

[0026] The flux of light 1 which carried out outgoing radiation from laser is collimated by desired magnitude with a beam expander 3, and this collimated flux of light is scanned in the direction of X-Y by the scanning optical system 14. It is condensed by the focal location of the image formation lens 16 with the pupil projection lens 15, and incidence of the scanned beam is carried out to the liquid crystal diffraction lens 21 through the image formation lens 16. The flux of light which was able to change the wave-front configuration here is projected by the pupil relay optical system 22, penetrates a dichroic mirror 13, and is scanned in the direction of X-Y on the sample side 6 with an objective lens 5. An optical path is reversed, it is reflected with a dichroic mirror 13, and the fluorescence from the sample side 6 excited by the excitation beam which condensed is detected by the detector 8 through the detection optical system 23.

[0027] It is the same as that of the 1st example that the scan of the direction of an optical axis is performed by non-aberration by operation of the liquid crystal diffraction lens 21 through a control unit 9. Although the confocal system has not become in this example, since the process itself is a nonlinear phenomenon and it is the phenomenon of occurring only near the condensing location of an excitation beam, with the unnecessary degree light which increased by decline in diffraction efficiency, multiphoton excitation does not break out and the fluorescence by multiphoton excitation does not become a problem at all. However, it is better to have made it prepare only all over an excitation laser beam way like this example, although the diffraction efficiency of the light of another side will fall and an image formation property will not be influenced in the fluorescence observation by multiphoton excitation, if a liquid crystal diffraction lens is in those coaxial optical paths, and a configuration is optimized according to the light of one wavelength since it is separated from the wavelength region of excitation light, and the wavelength region of fluorescence, since the detection quantity of light may be lost. In addition, in this example, if the observation system by lighting etc. is usually added instead of removing the detection optical system 23 and a detector 8, it will become the laser scanner which enables cell actuation by laser trap equipment, laser manipulation, etc.

[0028] Example 4 this example adds a dioptric lens 24 or a refracting interface 25 to the liquid crystal diffraction lens 21 in the 3rd example, it is a wave-front sensing element and the made thing, and those examples are shown in drawing 8 (a) and (b), respectively. Generally, the diffraction lens has an anomalous dispersion property and turns at it so well that wavelength is long contrary to a shorter light of wavelength bending well in the usual dioptric lens. therefore, the liquid crystal diffraction lens 21 which consists of diffraction side 21a and substrate 21b -- a dioptric lens 24 -- adding (referring to drawing 8 (a)) -- or it can consider as the wave-front sensing element which can amend chromatic aberration effectively by what the outside surface of the substrate 21b itself is made into a dioptric lens side for (refer to drawing 8 (b)). That is, if the wave-front sensing element of such a configuration is used, when carrying out incidence of the laser beam from which wavelength differs to coincidence, or even when incidence of the laser beam with wavelength width of face is carried out, there will be no chromatic aberration and it will become possible to make the condensing location of a laser beam bundle scan in the direction of an optical axis. In this case, it is as the 3rd example having explained that the unnecessary degree light which increased in connection with it does not have a bad influence on an image formation property although diffraction efficiency will fall if wavelength differs.

[0029] This invention is not limited to the example explained above, and it cannot be overemphasized that various combination is possible. Moreover, although only the diffraction lens by the liquid crystal subdivided as a wave-front sensing element was mentioned as the example and explained, this can also consist of components (the so-called liquid crystal lens, the so-called liquid lens, etc.) which can demonstrate the Fresnel lens by the subdivided liquid crystal, and a property equivalent to them.

[0030] As explained above, although the laser scanner using the wave-front sensing element and it by this invention has the **** description indicated to the claim, it also has the description which was indicated below.

[0031] (1) The wave-front sensing element according to claim 1 or 2 characterized by controlling the phase of said minute field and forming a diffraction lens. Thereby, the diffraction lens of a phase mold with the property of arbitration can be constituted.

[0032] (2) Claim 1 characterized by controlling the phase of said minute field, making a kino form configuration approximate gradually, and making it have a lens operation, 2, or a wave-front sensing element given in the above (1). It enables this to realize high diffraction efficiency on specific wavelength.

[0033] (3) Claim 1 characterized by controlling the phase of said minute field and making it make an aspheric surface wave front form, 2, or a wave-front sensing element given in the above (1). Thereby, the aspheric surface property of arbitration can be given.

[0034] (4) Claim 1 characterized by controlling the phase of said minute field, making a kino form configuration approximate gradually, and making it make an aspheric surface wave front form, 2, or a wave-front sensing element given in the above (1). Thereby, the diffraction lens of a phase mold with the aspheric surface property of arbitration can be constituted.

[0035] (5) The above (2) whose minute field included in approximation of said kino form configuration is characterized by being at least 4 fields at one pitch, or a wave-front sensing element given in (4). Four steps of kino forms which are the ideal configuration of a diffraction lens can be made to approximate also at the lowest by this, and even if the worst, the efficient diffraction lens of 81% or more of diffraction efficiency can be formed.

[0036] (6) A wave-front sensing element given in claim 1, 2 or the above (1) thru/or any of (5) they are. [which is characterized by liquid crystal being a homogeneous type] Thereby, the efficient wave-front sensing element by not amplitude control but phase control is realizable.

[0037] (7) The laser scanner according to claim 3 characterized by for said optical element having had a property equivalent to a coaxial symmetrical lens operation, and being closed by the power change if the scan of the direction of an optical axis was possible. The scan of the direction of an optical axis of the condensing location of a laser beam is attained without this using a mechanical device.

[0038] (8) A laser scanner given in claim 3 or the above (7) characterized by basing a means to offset the aberration generated with the scan of said direction of an optical axis on the aspheric surface property which said optical element has. Thereby, when the direction of an optical axis is scanned, the aberration to generate can fully be offset.

[0039] (9) the refractive index of the immersion medium of said objective lens, and the refractive index of a sample -- abbreviation -- whether it is the same When the refractive index of the immersion medium of said objective lens is smaller than the refractive index of a sample, the aspheric surface property of said optical element becomes large as the power separates from an optical axis. The amount Or the numerical aperture of said objective lens, Claim 3 characterized by increasing with the increment in the amount of optical-axis directional movements of the condensing location on the basis of the focal location of said objective lens, and making it go, the above (7), or a laser scanner given in (8). Even if it scans the direction of an optical axis for this to acquire the three-dimension image which is the greatest description of a laser beam microscope, the fall of the resolution by generating of the aberration accompanying it can be reduced, and a good optical slice image is obtained.

[0040] (10) Although the aspheric surface property of said optical element becomes small as the power separates from an optical axis when the refractive index of the immersion medium of said objective lens is larger than the refractive index of a sample The difference (the amount of deviations) with the spherical surface with the same paraxial curvature is a laser scanner claim 3 characterized by increasing with the numerical aperture of said objective lens, and the increment in the amount of optical-axis directional movements of the condensing location on the basis of the focal location of said objective lens, the above (7), or given in (8). Even if it scans the direction of an optical axis for this to acquire the three-dimension image which is the greatest description of a laser beam microscope, the fall of the resolution by generating of the aberration accompanying it can be reduced, and a good optical slice image is obtained. Moreover, it becomes possible to prevent that the trap force declines according to aberration also about sample actuation of a laser trap etc.

[0041] (11) the light (the reflected light --) which said laser equipment makes a sample side condense the light from laser, and emits from there It is the laser beam microscope which detects fluorescence etc. said optical element A laser scanner given in claim 3 or the above (7) thru/or any of (10) they are. [which is characterized by being arranged in the abbreviation parallel flux of light in the so-called common optical path between the optical members (the polarization beam splitter and dichroic mirror) and samples which branch an incidence laser beam bundle and the detection flux of light] Thereby, reflective observation or

fluorescence observation can also share said optical member by the illumination system and the detection system, when the wavelength of excitation light and the wavelength of fluorescence are approaching.

[0042] (12) Said laser scanner makes a sample side condense the light from laser. Between the optical members (the polarization beam splitter and dichroic mirror) and the light sources to which it is the laser beam microscope which detects the light (reflected light, fluorescence, etc.) emitted from there, and said optical element branches an incidence laser beam bundle and the detection flux of light, A laser scanner given in claim 3 or the above (7) thru/or any of (10) they are. [which is characterized by being arranged, respectively in the abbreviation parallel flux of light in both the optical paths between this optical member and a detector, and being able to control now independently] Thereby, even when it is the fluorescence observation from which are separated of the wavelength region of excitation light, and the wavelength region of fluorescence, said optical member can be optimized according to each wavelength region.

[0043] (13) Said laser scanner makes a sample side condense the light from laser. making the laser beam microscope which detects the fluorescence emitted by the multiphoton excitation of a there, or a sample side condense a laser beam -- sample actuation (a trap --) A laser scanner given in claim 3 or the above (7) thru/or any of (10) they are. [to which it is laser equipment which performs manipulation etc., and said optical element is characterized by being arranged only in the abbreviation parallel flux of light in an incidence laser beam way] This omits an unnecessary optical member in the multi-photon laser beam microscope which should control only the condensing condition of an incidence laser beam, and only a required optical member can be optimized. Or since what is necessary is to control only the condensing condition of an incidence laser beam also in laser trap equipment, a laser beam machine, etc., an unnecessary optical member can be omitted and only a required optical member can be optimized.

[0044] (14) A laser scanner given in the above (11) thru/or any of (13) they are. [which is characterized by arranging said optical element which can offset the aberration generated in connection with a scan and it of the direction of an optical axis in the pupil location of said objective lens, and the location / ****] Even if it can perform aberration amendment by the power addition same from the axial Uemitsu bundle to an axial outdoor daylight bundle, and the aspheric surface property by this and scans the direction of an optical axis by power addition, a laser scanner without scale-factor fluctuation of optical system can be offered.

[0045] (15) Said optical element which can offset the aberration generated in connection with a scan and it of the direction of an optical axis It is arranged near the pupil location of said objective lens, or it and a location [****]. A laser scanner given in the above (11) thru/or any of (13) they are. [which is characterized by having the device which amends change (scale-factor change) of the focal distance of the condensing optical system by power change of said optical element in the electrical and electric equipment and software at the time of image display when using a beam scanning mode for a scan] It becomes possible to be able to perform aberration amendment by the power addition same from the axial Uemitsu bundle to an axial outdoor daylight bundle as abbreviation, and the aspheric surface property by this, and to build a three-dimension image faithful to a sample. That is, if the direction of an optical axis by power addition is scanned when the location of said optical element is not correctly in agreement with a pupil location, the focal distance (scale factor) of optical system changes, and if it remains as it is, a problem will crop up at the time of construction of a three-dimension image. However, if optical system is known, since the scale-factor fluctuation accompanying the scan of the direction of an optical axis is calculable, it becomes possible at the time of image display the electrical and electric equipment and to amend in software.

[0046] (16) It is a laser scanner given in the above (11) thru/or any of (13) when said optical element which can offset the aberration generated in connection with a scan and it of the direction of an optical axis is not arranged in the pupil location of said objective lens, it and a location [****], or its near, they are. [which is characterized by using a stage scanning mode for a scan] Thereby, a condensing property and an image formation property can offer the laser scanner which does not need to care about fluctuation of the focal distance accompanying the scan of the direction of an optical axis, either that what is necessary is to take only a shaft top into consideration.

[0047] (17) a laser scanner given in any of a claim (3) or (7) thru/or (16) which be characterize by said optical element which can offset the aberration generate in connection with a scan and it of the direction of an optical axis scan a condensing location in the direction of an optical axis, and make it go to it by be control to carry out sequential implementation of the data (power and aspheric surface property) memorized beforehand they be. Thereby, the total-system control of the equipment which needs the scan of the direction of an optical axis becomes possible.

[0048] (18) A laser scanner given in the claim (3) or the above (7) thru/or any of (17) they be. [which be

characterize by said optical element which can offset the aberration generate in connection with a scan and it of the direction of an optical axis consist of the liquid crystal lens and liquid lens into which the power and configuration be freely changeable, micro mirror devices, or those combination] The direction of an optical axis can be scanned, without this using a mechanical device, and the condensing engine performance and image formation performance degradation accompanying it can be lost.

[0049] (19) The laser scanner characterized by making it make said condensing location scan in the direction of an optical axis by having a laser light source, the objective lens which makes a sample etc. condense the flux of light from this laser light source, a wave-front sensing element given in any [claim 1, 2 or the above (1) thru/or] of (6) they are, and the control unit which controls this wave-front sensing element, and controlling phase distribution of said wave-front sensing element. It becomes possible to make the condensing location of a laser beam scan in the direction of an optical axis, without this using a mechanical device.

[0050] (20) A laser light source and the objective lens which makes a sample etc. condense the flux of light from this laser light source, While making said condensing location scan in the direction of an optical axis by having the control unit which controls a wave-front sensing element and this wave-front sensing element given in any [claim 1, 2 or the above (1) thru/or] of (6) they are, and controlling phase distribution of said wave-front sensing element The laser scanner characterized by making it offset the aberration generated by this scan. When the scan of the direction of an optical axis of the condensing location of laser is attained, without this using a mechanical device and the direction of an optical axis is scanned, the aberration to generate can fully be offset.

[0051] (21) The laser scanner characterized by making it offset a laser light source, the objective lens which makes a sample etc. condense the flux of light from this laser light source, a wave-front sensing element given in any [claim 1, 2 or the above (1) thru/or] of (6) they are, the control unit which controls this wave-front sensing element, and the aberration generated with migration of said condensing location by controlling phase distribution of said wave-front sensing element. When the scan of the x of condensing location of laser beam, y, and z all direction is attained, without this using a mechanical device and a laser beam is scanned, the aberration to generate can fully be offset.

[0052] (22) A laser light source and the objective lens which makes a sample etc. condense the flux of light from this laser light source, A wave-front sensing element given in any [claim 1, 2 or the above (1) thru/or] of (6) they are, the control device which controls this wave-front sensing element -- having -- the refractive index of the immersion medium of said objective lens, and the refractive index of said sample etc. -- abbreviation -- whether it is the same When the refractive index of the immersion medium of said objective lens is smaller than the refractive index of said sample etc., the aspheric surface property of said wave-front sensing element becomes large as the power separates from an optical axis. The amount Or the numerical aperture of said objective lens, The laser scanner characterized by controlling phase distribution of said wave-front sensing element to increase with the increment in the amount of optical-axis directional movements of said condensing location on the basis of the focal location of said objective lens. Even if it scans the direction of an optical axis for this to acquire the three-dimension image which is the greatest description of a laser beam microscope, the fall of the resolution by generating of the aberration accompanying it can be reduced, and a good optical slice image can be obtained.

[0053] (23) A laser light source and the objective lens which makes a sample etc. condense the flux of light from this laser light source, A wave-front sensing element given in any [claim 1, 2 or the above (1) thru/or] of (6) they are, Although it has the control device which controls this wave-front sensing element, and the aspheric surface property of said wave-front sensing element becomes small as the power separates from an optical axis when the refractive index of the immersion medium of said objective lens is larger than the refractive index of said sample etc. The difference (the amount of deviations) with the spherical surface with the same paraxial curvature is a laser scanner characterized by controlling phase distribution of said wave-front sensing element to increase with the numerical aperture of said objective lens, and the increment in the amount of optical-axis directional movements of said condensing location on the basis of the focal location of said objective lens. Even if it scans the direction of an optical axis for this to acquire the three-dimension image which is the greatest description of a laser beam microscope, the fall of the resolution by generating of the aberration accompanying it can be reduced, and a good optical slice image can be obtained. Moreover, it becomes possible to prevent the trap force declining according to aberration also about sample actuation of a laser trap etc.

[0054] It is arranged near the optical system in which the wave-front sensing element given in any [claim 1, 2 or the above (1) thru/or] of (6) they are had the predetermined power which consists of the refracting

interface of the 1st [at least] page. (24) By change of those synthetic power The laser scanner characterized by having an aspheric surface property which amends the aberration of the optical system which it is possible to move the condensing location of the laser beam bundle by said objective lens in the direction of an optical axis, and said wave-front sensing element generates. Even if this scans the direction of an optical axis which is the big description of a laser scanner, the condensing performance degradation by generating of the aberration accompanying it can be reduced, and a good optical slice image can be obtained especially in a laser beam microscope. Furthermore, if a diffraction lens has an anomalous dispersion property and it combines with the usual refracting interface, chromatic aberration will be amended effectively. Therefore, by taking this configuration, even when incidence of the laser beam with the case where incidence of the laser beam from which wavelength differs is carried out to coincidence, or wavelength width of face is carried out, chromatic aberration does not arise, but it becomes possible to move the condensing location of a laser beam bundle in the direction of an optical axis. However, since the aspheric surface property in this case has various properties according to the condition (refractive index) of the immersion medium of the aberration generated the power of the refracting interface to combine, and there, and the objective lens to be used, or a sample, that property cannot generally be decided.

[0055]

[Effect of the Invention] According to this invention, the wave-front sensing element which can give the function as an optical element can be offered like **** by being able to form the wave-front configuration of arbitration and reproducing the image data of a certain kind in a Cartesian coordinate system or a spherical coordinate system on liquid crystal. Moreover, the wave-front sensing element which can offset the aberration generated in connection with migration of a condensing location and it can be offered by combining with the optical system of an objective lens etc.

[0056] Moreover, while enabling the scan of the direction of an optical axis of a condensing location according to this invention, without using a mechanical device, when condensing performance degradation can be lost and it applies to especially a laser scanning microscope, the laser scanner which can obtain the optical slice image of the good sample by which resolution does not fall can be offered.

[Translation done.]

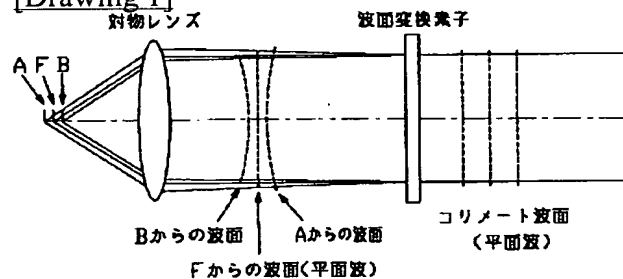
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

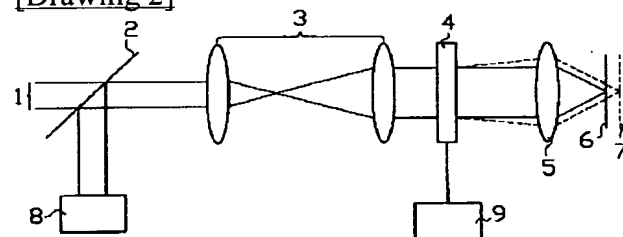
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

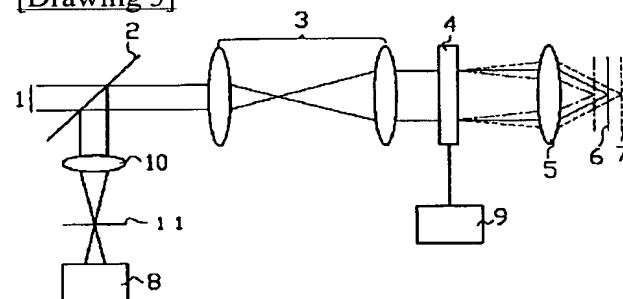
[Drawing 1]



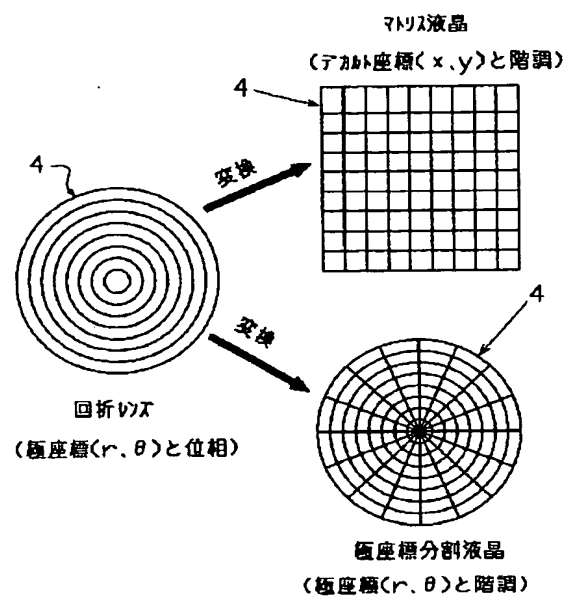
[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Drawing 5]

位相 2π

位相0

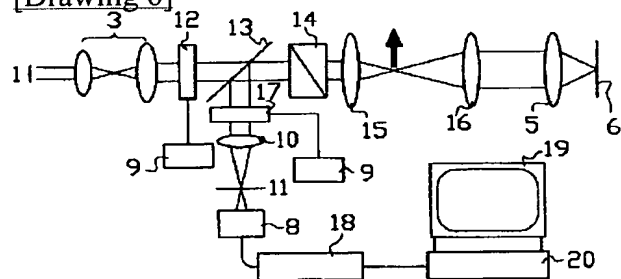
階段近似

(1/4波長)

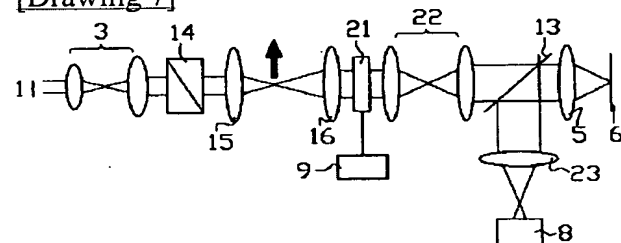
(4段近似)

デカルト座標 (x, y) と
階調<位相>又は、極座標 (r, θ) と
階調<位相>

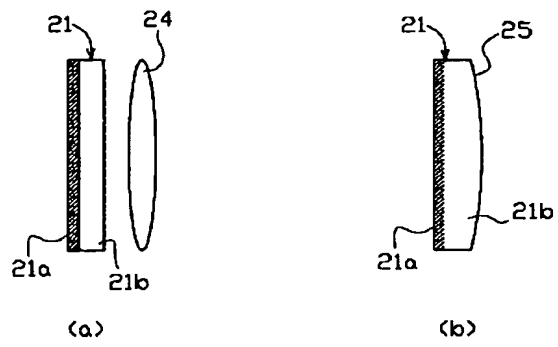
[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-326860

(43)Date of publication of application : 26.11.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/13
G02B 5/18

(21)Application number : 10-135572

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 18.05.1998

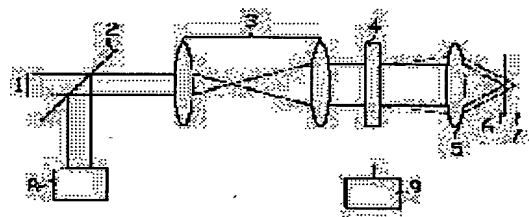
(72)Inventor : KAJIMA SHINGO
ISHIWATARI YUTAKA

(54) WAVE FRONT CONVERTING ELEMENT AND LASER SCANNER USING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wave-front converting element and a laser scanner using it, which can scan focal positions of a luminous flux in the direction of the optical axis without using mechanical mechanism, and offsetting the aberration caused in such a case.

SOLUTION: This laser scanner has a luminous flux branching element 2 arranged in an optical path of a laser beam flux 1, a beam expander 3, a wave-front converting element 4 capable of changing a wave-front form of the light as necessary, an object lens 5 for converging the light on a specimen side 6, a detector 8, and a control device 9. The wave-front converting element 4 consists of liquid crystal elements constituted so that each micro-divided region can be controlled independently by a control device 9.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.04.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-326860

(43) 公開日 平成11年(1999)11月26日

(51) Int.Cl.⁶
 G 0 2 F 1/13
 G 0 2 B 5/18

識別記号
 5 0 5

F I
 G 0 2 F 1/13
 G 0 2 B 5/18

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-135572

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月18日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号

(72) 発明者 鹿島 伸悟

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号 オリ
 ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 石渡 裕

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号 オリ
 ンパス光学工業株式会社内

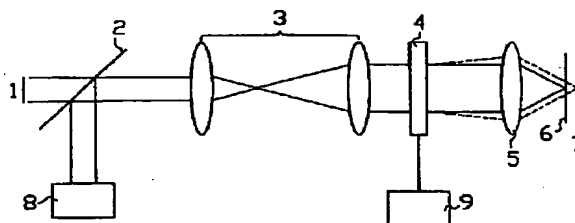
(74) 代理人 弁理士 篠原 泰司 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 波面変換素子及びそれを用いたレーザ走査装置

(57) 【要約】

【課題】 機械的な機構を用いることなしに光束の集光位置を光軸方向に走査させることができ、且つその際に発生する収差を相殺することの出来る波面変換素子及びそれを用いたレーザ走査装置を提供する。

【解決手段】 レーザ光束 1 の光路中に配置された光束分岐素子 2 と、ビームエクスペンダ 3 と、光の波面形状を適宜変化させ得る波面変換素子 4 と、標本面 6 上に集光させるための対物レンズ 5 と、検出器 8 と、制御装置 9 を備えている。波面変換素子 4 は、微小に分割された各領域が制御装置 9 により独立に制御され得るように構成された液晶素子から成っている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 微小に分割された各領域が独立に制御され得るように構成された液晶素子から成り、前記各領域の位相を変化させることにより、そこを透過し又はそこから反射する光の波面形状を適宜変化させ得るようにした波面変換素子。

【請求項2】 前記各領域はマトリクス状又は扇形状をなしている請求項1に記載の波面変換素子。

【請求項3】 レーザからの出射光を光学系を用いて標本位置に集光させ、その集光位置を光軸方向に走査させるようにしたレーザ走査装置において、前記走査に伴って発生する収差を相殺し得る光学素子を具備したことを特徴とするレーザ走査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光の波面形状を任意に変換できる波面変換素子、及び該素子を用いたレーザ走査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば走査型レーザ顕微鏡において標本の3次元像を得るためには、標本又は対物レンズを機械的に光軸方向に移動させて、標本内部の各面における光学像を順次取り込んで行く必要があった。しかし、この方法は、機械的移動のため位置制御誤差や再現性等の点で正確な光軸方向の走査の実現は困難であり、また標本走査の場合には、標本が大きくなると高速走査が出来ない等の問題があった。更に、標本が生体標本等で対物レンズを直接生体又は培養液に漬けて高速な生体の動きを観察する場合には、対物レンズを走査すると、観察する標本に振動等の悪影響を与えることになり、好ましくない。又、対物レンズのイメージング媒質の屈折率と標本の屈折率が異なる場合は、集光位置の移動に伴って発生する収差（球面収差）により、解像度が低下してしまうと云う問題点があった。

【0003】一方、パワー（波面形状）を変化させることの出来る光学素子としては、液晶レンズや液体レンズ或いはそれらを組み合わせたものが知られており、特に液晶を用いて焦点距離や焦点位置を変える方法としては、特開平5-93895号、同5-100201号及び同5-53089号公報等に開示されているものがある。又、液晶を用いて倍率を変化させる方法としては、特開平9-318909号公報等に開示されたものがあるが、これらの先行例は何れも、液晶レンズの光学特性を変化させる手段として、輪帯状に電極を配置し、これに印加する電圧を制御する方法が用いられている。なお、これらの先行例には、液晶レンズを他の複数の光学系と組み合わせて用いた場合、パワーを変化させたことによって全体として発生する収差をどうするかに関しては、全く言及されていない。

【0004】又、液体レンズに関しては、特開平8-1

14703号公報等に開示されているが、これも複数の光学系と組み合わせて用いた場合、パワーを変化させたことによって全体として発生する収差をどうするかに関しては、全く言及されていない。

【0005】又、アダプティブオブティクスに関しては、例えば望遠鏡に用いる場合、大気揺らぎによる光の波面の乱れを相殺する目的で用いられており、また顕微鏡に用いる場合も標本を光が通過する際等の光の波面の乱れを相殺する目的で用いられており、あくまで乱れた波面（収差）の相殺と云う観点で用いられているだけで、それにパワーを持たせることで光学系の焦点位置を変化させると云った観点では用いられていない。更に、収差補正という観点においても、具体的にどのように収差補正を行うかが示されていない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従来の技術の有するこのような問題点及び実情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、機械的な機構を用いることなしに光束の集光位置を光軸方向に走査させることができ、且つその際に発生する収差を相殺して走査に伴う集光性能及び結像性能の低下を低減し得る波面変換素子及びそれを用いたレーザ走査装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明による波面変換素子は、微小に分割された各領域が独立に制御され得るように構成された液晶素子から成り、前記各領域の位相を変化させることにより、そこを透過し又はそこから反射する光の波面形状を適宜変化させ得るようになっている。

【0008】本発明によれば、上記各領域はマトリクス状又は扇形状をなしている。

【0009】又、上記目的を達成するため、本発明によるレーザ走査装置は、レーザからの出射光を光学系を用いて標本位置に集光させ、その集光位置を光軸方向に走査させるようにしたレーザ走査装置において、前記走査に伴って発生する収差を相殺し得る光学素子を装備したことを特徴としている。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を説明するに先立ち、図1を用いて、光軸方向の前記走査に伴って発生する収差（球面収差）と、それを相殺するための非球面特性とに関して説明することにする。

【0011】一般に、無収差レンズによりデフォーカスさせた場合の光波面の崩れは焦点位置を挟んで上下（前後）対称であり、又その崩れの度合いはNA（開口数）の大きな所（瞳で考えれば周辺部）に行く程大きくなるので、それを相殺するための非球面パワーは、周辺に行く程即ち光軸から離れるに従って強くする必要がある。

図1では、分かり易くするため、光の進行方向が実際と

は逆に描かれている。即ち、対物レンズの焦点位置及びその前後にデフォーカスした位置から光が出るものとして描かれている。ここで、対物レンズの焦点位置Fから出た光束は、無収差のコリメート光即ち平面波となって対物レンズより出射する。これに対して、前側にデフォーカスした点Aから出た光束は収斂光束となって対物レンズより出射するが、その波面は収差の影響によりNAの大きい部分（光束の周辺部）での曲がりが大きくなるため、これを無収差のコリメート光即ち平面波に戻すには、凹パワーを持ち周辺に行く程その凹パワーが強くなるような非球面レンズと等価な特性を有する光学素子が必要となる。

【0012】逆に、後側にデフォーカスした点Bから出た光束は発散光となるが、その波面は収差の影響によりNAの大きい部分での曲がりが大きくなるため、これを無収差のコリメート光に戻すには、凸パワーを持ち周辺に行く程その凸パワーが強くなるような非球面レンズと等価な特性を有する光学素子が必要となる。一般に単レンズでコリメート光を集光させようとすると、厚肉である一般の球面レンズでは周辺に行くに従ってパワーが強くなるため、その焦点位置で球面収差が発生する。これを補正するため、非球面にして周辺に行く程そのパワーが弱くなるようにすることにより、無収差で集光させ得ることは周知であるが、デフォーカスによって発生する収差を相殺する場合はこれとは逆になる。

【0013】実際の対物レンズ等は必ずしも無収差ではないが、レーザ顕微鏡に用いられるような高精度の対物レンズをレーザ光のような準単色光で用いる場合は略無収差となり、上記の理論が適用できると考えて良い。又、対物レンズのイメージング媒質の屈折率が標本の屈折率よりも小さい（ドライ対物レンズで水中の標本を観察する）場合は、その界面で光線角が緩くなる方向で球面収差が発生するため、それを相殺するための非球面パワーは周辺に行く程強くする必要があり、やはり上記のような非球面特性を必要とする。更に、収差の発生量が対物レンズのNAと集光位置の光軸方向移動量の増加に伴って大きくなるので、その収差を相殺するための非球面量もそれに依じて増加することになる。

【0014】又、対物レンズのイメージング媒質の屈折率が標本の屈折率よりも大きい（油浸対物レンズで水中の標本を観察する）場合は、その界面で光線角がきつくなる方向で球面収差が発生するため、それを相殺するための非球面特性は周辺に行く程弱くする、即ち同じ近軸曲率を持つ球面のパワーよりも小さくする必要がある。これは、デフォーカスさせた場合の波面の崩れを相殺する方向とは逆であり、NAの小さいものでは屈折率不一致による収差がデフォーカスによる収差よりも小さく、総合的な収差を相殺する非球面特性はそのパワーが光軸から離れるに従って大きくなる可能性もあるが、一般に油浸対物レンズはNAを大きくするために用いられてい

て、屈折率不一致による収差の発生量が極めて大きいため、総合的な収差は屈折率不一致による収差発生傾向を持ち、それを相殺する非球面特性はそのパワーが光軸から離れるに従って小さくなる。更に、収差の発生量が対物レンズのNAと集光位置の光軸方向移動量の増加に伴って大きくなるので、その収差を相殺するための非球面量もそれに伴って増加し、同じ近軸曲率を持つ球面との差（乖離量）は大きくなる。

【0015】次に、図2を用いて本発明の基本構成と作用を説明する。図中、1は図示しないレーザから出射された光束、2は光束分岐素子、3はビームエクステンダ、4は光束波面を任意の形状に変えることのできる波面変換素子、5は対物レンズ、6は対物レンズ5の焦点位置（通常の場合の標本面）、7は焦点位置6よりも対物レンズ5から離れた方向に外れたデフォーカス位置、8は光検出器、9は波面変換素子を駆動する制御装置である。

【0016】図2において、光束1は光束分岐素子2を通過後、ビームエクステンダ3により所望の大きさにコリメートされて、波面変換素子4に入射せしめられ、ここで制御装置9により適宜波面を変形させられた後、対物レンズ5により集光される。この場合、制御装置9により波面変換素子4が全く波面を変形させないように制御されたときは、光束1は焦点位置6に集光せしめられるが、波面変換素子4が制御装置9により制御されて、光束1に拡散ビームとなるような波面変形を与えたときは、光束1はデフォーカス位置7に集光せしめられる。

【0017】通常、対物レンズ5はコリメートビームが入射した際に、その焦点位置6に略無収差で集光するように設計されているため、拡散ビームや収斂ビームが入射した際は、その集光位置がずれるだけでなく、収差も発生してしまう。そこで、波面変換素子4は非球面特性を持ち、発生した収差を相殺するようにビームの波面を変形させ得るようになっている。この場合、波面変換素子4が発散ビームから収斂ビームの全域に亘って連続的に波面を変形させ、同時にその際発生する収差を相殺するようになっていると、入射ビームの集光位置の光軸方向の走査が常に無収差状態で可能となる。レーザ走査顕微鏡の場合は、集光位置から発する光（反射光、蛍光等）は光路を逆進し、光束分岐素子2で反射されて検出器8により検出される。

【0018】以下、本発明の実施形態を図示した実施例に基づきより具体的に説明する。

実施例1

図3は、本発明に係るレーザ走査装置の第1実施例の概略構成図である。図中、図2で用いたのと実質上同一の部材には同一符号が付されている。本実施例は図2に示したものと基本的な構成は同じで、図示は省略されているが、同一被検面内での走査はステージを動かすことにより行われるようになっている。又、検出系は、共焦点

レンズ10と共焦点ピンホール11を用いた所謂共焦点系となっている。更に、本実施例では、波面を任意の形状に変えることの出来る波面変換素子4が、ホモジニアスタイプの細分化された液晶素子から成る回折レンズで構成されていて、液晶制御装置9で制御されるようになっている。

【0019】ホモジニアスタイプの液晶素子は、印加される電圧の大きさに応じてその位相を零から 2π の間で制御することが出来、これを光学素子として用いた場合には、位相変調素子として使用することが出来る。又、位相を零から 2π の間で制御することが出来るので、その特性を反転させることにより位相が逆転し、レンズ素子として考えた場合には凸レンズから凹レンズに反転させることが可能であることを意味する。尚、この液晶素子はマトリクス状や扇形状に配列された場合でも、各素子を独立に制御することが出来ることは通常の液晶と同じである。

【0020】図4は、回折レンズをホモジニアスタイプの細分化された液晶で実現する際の概念図である。一般に、回折レンズは半径方向の形状（ピッチ）と位相を制御して製作されるが、その情報（極座標系での形状と位相データ）を、マトリクス情報（デカルト座標系での形状と階調）或いは極座標情報（極座標系での形状と階調）に変換することが出来る。この場合の階調は、通常の明暗の階調ではなく、零から 2π の間の位相階調である。逆に考えれば細分化された液晶の各素子の位相階調を制御することにより、細分化された液晶で任意の回折レンズを構成することが出来る。

【0021】回折レンズは、図5に示すように、位相が零の位置から 2π になる位置までが直線となる形状（所謂キノフォーム）の時に、理論的には回折効率が100%となる。しかし、細分化された液晶で回折レンズを構成する場合は、キノフォームにすることは不可能であり、それを階段的に近似させたものとなる。ピッチが大きい部分でそのピッチ内に十分な数の液晶素子があれば、略キノフォームと等価な形状が実現できるが、周辺部等のピッチの小さいところではその中に入る液晶素子の数が少なくなるため、粗い階段近似となる。本実施例では、最小ピッチの中にでも少なくとも4個の液晶素子が入るように回折レンズの形状を限定している。そのため、最悪でもキノフォームの4段近似となり、回折効率81%程度は実現できる。この値は、一般の光学系でも実用上殆ど問題にならないが、本実施例の場合は、回折効率の低下により増加した不要次数光は、検出の際の共焦点ピンホール11でカットされるため、全く問題にならない。

【0022】実施例2

図6は、本発明に係るレーザ走査装置の第2実施例の概略構成図である。図中、図2で用いたものと実質上同一の部材には同一符号が付されている。本実施例は、ビー

ムスキャン方式の蛍光観察用の共焦点レーザ顕微鏡に本発明を適用したものであり、波面変換素子（細分化された液晶による回折レンズ）が入射レーザ光束中と検出光路中に夫々設けられていて、二つの液晶制御装置9で連動且つ独立に制御されるようになっている点に特徴を有するが、12は励起光用の液晶回折レンズ（波面変換素子）、13はレーザ光を透過し蛍光を反射するダイクロイックミラー、14はX-Y方向に走査するスキャン光学系、15は瞳投影レンズ、16は結像レンズ、17は蛍光用の液晶回折レンズ（波面変換素子）、18は倍率変動補正機構を備えた信号処理系、19はディスプレイ、20は画像保存装置である。

【0023】レーザから出射した光束1は、ビームエクスパンダ3により所望の大きさにコリメートされ、液晶回折レンズ12に入射する。ここで波面形状を変えられたビームは、ダイクロイックミラー13を透過し、スキャン光学系14でX-Y両方向に走査される。走査されたビームは、瞳投影レンズ15で結像レンズ16の焦点位置に集光され、結像レンズ16と対物レンズ5により、標本面6上でX-Y方向に走査される。集光された励起ビームにより励起された標本面6からの蛍光は、光路を逆進し、ダイクロイックミラー13で反射され、蛍光用の液晶回折レンズ17、共焦点レンズ10及び共焦点ピンホール11を介して検出器8により検出される。検出された信号は、信号処理系18を介してディスプレイ19に表示され、同時に画像保存装置20に保存される。

【0024】励起光用の液晶回折レンズ12の制御により、光軸方向の走査が略無収差で行われるのは、第1実施例と同様であり、又、検出光学系に設けられた蛍光用の液晶回折レンズ17を連動させて制御することにより、波長の異なる励起光と蛍光に関して各々最適化した回折レンズを構成することができる。但し、本実施例では、対物レンズ5の瞳と完全に共役な位置に液晶回折レンズ12が配置されている訳ではないため、ここで液晶回折レンズにパワーを与えることにより、全系の焦点距離（倍率）が若干変化する。そのため、このままでは光学的スライス像を取った時にスライス位置によって像の大きさが変わってしまい、3次元像を構築した際に標本の形状を忠実に再現しなくなる。しかし、光学系が分かっているならば光軸方向の走査に伴う倍率変動が計算できるため、検出された信号に電気・ソフト的に補正をかけ、倍率変動を相殺し、標本の形状に忠実な3次元像を構築することが可能となる。

【0025】実施例3

図7は、本発明に係るレーザ走査装置の第3実施例の概略構成図である。図中、既述の実施例で用いたものと実質上同一の部材には同一符号が付されている。本実施例は、ビームスキャン方式の多光子励起蛍光顕微鏡に本発明を適用したものであり、光軸方向の走査に伴う倍率変

動をなくすため、対物レンズ5の瞳位置をリレー光学系で投影した位置に細分化された液晶による回折レンズを設けたものであり、それが液晶制御装置9により制御されるようにした点に特徴を有する。図中、21は液晶回折レンズ(波面変換素子)、22は瞳リレー光学系、23は検出光学系である。

【0026】レーザから出射した光束1はビームエキスパンダ3により所望の大きさにコリメートされ、このコリメートされた光束はスキャン光学系14でX-Y方向に走査される。走査されたビームは瞳投影レンズ15により結像レンズ16の焦点位置に集光され、結像レンズ16を介して液晶回折レンズ21に入射する。ここで波面形状を変えられた光束は瞳リレー光学系22で投影され、ダイクロイックミラー13を透過し、対物レンズ5により標本面6上でX-Y方向に走査される。集光した励起ビームにより励起された標本面6からの蛍光は光路を逆進し、ダイクロイックミラー13で反射され、検出光学系23を介して検出器8により検出される。

【0027】制御装置9を介しての液晶回折レンズ21の作用により、光軸方向の走査が無収差で行われるのは第1実施例と同様である。本実施例は共焦点系とはなっていないが、多光子励起による蛍光はその過程自体が非線形現象であり、励起ビームの集光位置近傍でしか起きない現象であるため、回折効率の低下により増加した不要次数光では多光子励起が起きず、全く問題にならない。但し、多光子励起による蛍光観察では励起光の波長域と蛍光の波長域は離れているため、それらの共軸光路中に液晶回折レンズがあると、一方の波長の光に合わせて形状を最適化すると他方の光の回折効率が低下し、結像特性には影響しないが、検出光量を損失する場合があるので、本実施例のように励起レーザ光路中にのみ設けるようにした方が良い。尚、本実施例において、検出光学系23と検出器8を取り除き、代わりに例えば通常照明等による観察系を付加すれば、レーザトラップ装置やレーザマニピュレーション等による細胞操作を可能にするレーザ走査装置となる。

【0028】実施例4

本実施例は、第3実施例において液晶回折レンズ21に屈折レンズ24又は屈折面25を付加して波面変換素子となしたもので、図8(a)及び(b)にそれらの一例が夫々示されている。一般に回折レンズは逆分散特性を持っており、通常の屈折レンズが波長の短い光ほど良く曲がるのとは逆に、波長が長い程よく曲がる。そのため、回折面21aと基板21bから成る液晶回折レンズ21に屈折レンズ24を付加する(図8(a)参照)か、或いは基板21b自体の外表面を屈折レンズ面にする(図8(b)参照)ことにより、色収差を効果的に補正することが可能な波面変換素子とすることができる。即ち、このような構成の波面変換素子を用いれば、波長の異なるレーザ光を同時に入射させる場合や、波長幅を

持つレーザ光を入射させた場合でも、色収差がなく、レーザ光束の集光位置を光軸方向に走査させることが可能となる。この場合、波長が異なると回折効率が低下するが、それに伴い増加した不要次数光が結像特性に悪影響を及ぼさないのは、第3実施例で説明した通りである。

【0029】本発明は、以上説明した実施例に限定されるものではなく、種々の組み合わせが可能であることは言うまでもない。又、波面変換素子として細分化された液晶による回折レンズのみを例に挙げて説明したが、これは、細分化された液晶によるフレネルレンズや、それらと同等の特性を発揮し得る素子(所謂液晶レンズや液体レンズ等)で構成することも出来る。

【0030】以上説明したように、本発明による波面変換素子及びそれを用いたレーザ走査装置は、特許請求の範囲に記載した如き特徴を有するが、そのほか下記に記載したような特徴も有する。

【0031】(1)前記微小領域の位相を制御し、回折レンズを形成するようにしたことを特徴とする請求項1又は2に記載の波面変換素子。これにより、任意の特性を持った位相型の回折レンズを構成することが出来る。

【0032】(2)前記微小領域の位相を制御し、キノフォーム形状を段階的に近似させてレンズ作用を有するようにしたことを特徴とする請求項1又は2又は上記(1)に記載の波面変換素子。これにより、特定の波長で高い回折効率を実現することが可能となる。

【0033】(3)前記微小領域の位相を制御して非球面波面を形成させるようにしたことを特徴とする請求項1又は2又は前記(1)に記載の波面変換素子。これにより、任意の非球面特性を持たせることができる。

【0034】(4)前記微小領域の位相を制御し、キノフォーム形状を段階的に近似させて非球面波面を形成させるようにしたことを特徴とする請求項1又は2又は上記(1)に記載の波面変換素子。これにより、任意の非球面特性を持った位相型の回折レンズを構成することができる。

【0035】(5)前記キノフォーム形状の近似に含まれる微小領域が1ピッチに少なくとも4領域であることを特徴とする上記(2)又は(4)に記載の波面変換素子。これにより、回折レンズの理想的な形状であるキノフォームを最低でも4段近似させることができ、最悪でも回折効率81%以上の高効率回折レンズが形成できる。

【0036】(6)液晶がホモジニアスタイプであることを特徴とする請求項1又は2又は上記(1)乃至(5)の何れかに記載の波面変換素子。これにより、振幅制御ではなく、位相制御による高効率な波面変換素子が実現できる。

【0037】(7)前記光学素子が共軸対称レンズ作用と等価な特性を持ち、そのパワー変化によって光軸方向の走査が可能ならしめられたことを特徴とする請求項3

に記載のレーザ走査装置。これにより、機械的な機構を用いずにレーザ光の集光位置の光軸方向の走査が可能となる。

【0038】(8) 前記光軸方向の走査に伴って発生する収差を相殺する手段が、前記光学素子の有する非球面特性によることを特徴とする請求項3又は上記(7)に記載のレーザ走査装置。これにより、光軸方向の走査を行った際に発生する収差を十分に相殺することができる。

【0039】(9) 前記対物レンズのイマージョン媒質の屈折率と標本の屈折率が略同じか、又は前記対物レンズのイマージョン媒質の屈折率が標本の屈折率よりも小さい場合、前記光学素子の非球面特性が、そのパワーが光軸から離れるに従って大きくなり、且つその量が前記対物レンズの開口数と、前記対物レンズの焦点位置を基準とした集光位置の光軸方向移動量の増加に伴って増加して行くようにしたことを特徴とする請求項3又は上記(7)又は(8)に記載のレーザ走査装置。これにより、レーザ顕微鏡の最大の特徴である3次元像を取得するための光軸方向の走査を行っても、それに伴う収差の発生による解像度の低下を低減することができ、良好な光学的スライス像が得られる。

【0040】(10) 前記対物レンズのイマージョン媒質の屈折率が標本の屈折率よりも大きい場合、前記光学素子の非球面特性はそのパワーが光軸から離れるに従って、小さくなるが、同じ近軸曲率を持つ球面との差(乖離量)は前記対物レンズの開口数と、前記対物レンズの焦点位置を基準とした集光位置の光軸方向移動量の増加に伴って増加するようになっていることを特徴とする請求項3又は上記(7)又は(8)に記載のレーザ走査装置。これにより、レーザ顕微鏡の最大の特徴である3次元像を取得するための光軸方向の走査を行っても、それに伴う収差の発生による解像度の低下を低減することができ、良好な光学的スライス像が得られる。又、レーザトラップなどの標本操作に関しても、収差によりトラップ力が低下するのを防止することが可能となる。

【0041】(11) 前記レーザ装置が、レーザからの光を標本面に集光させ、そこから発する光(反射光、蛍光等)を検出するレーザ顕微鏡であり、前記光学素子が、入射レーザ光束と検出光束を分岐させる光学部材(偏光ビームスプリッタやダイクロイックミラー)と標本との間の所謂共通光路中の略平行光束中に配置されていることを特徴とする請求項3又は上記(7)乃至(10)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、反射観察、或いは蛍光観察でも励起光の波長と蛍光の波長が接近している場合は照明系と検出系で前記光学部材を共用することが出来る。

【0042】(12) 前記レーザ走査装置が、レーザからの光を標本面に集光させ、そこから発する光(反射光、蛍光等)を検出するレーザ顕微鏡であり、前記光学素子

が入射レーザ光束と検出光束を分岐させる光学部材(偏光ビームスプリッタやダイクロイックミラー)と光源との間と、該光学部材と検出器との間の両光路中の略平行光束中に夫々配置され、独立に制御され得るようになっていることを特徴とする請求項3又は上記(7)乃至(10)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、励起光の波長域と蛍光の波長域が離れている蛍光観察の場合でも、夫々の波長域に合わせて前記光学部材を最適化することができる。

10 【0043】(13) 前記レーザ走査装置が、レーザからの光を標本面に集光させ、そこでの多光子励起により発する蛍光を検出するレーザ顕微鏡、或いは標本面にレーザ光を集光させることにより標本操作(トラップ、マニピュレーション等)を行うレーザ装置であり、前記光学素子が、入射レーザ光路中の略平行光束中のみ配置されていることを特徴とする請求項3又は上記(7)乃至(10)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、入射レーザ光の集光状態のみを制御すれば良い多光子レーザ顕微鏡において不要な光学部材を省略し、必要な光学部材のみを最適化するようにすることができる。或いは、レーザトラップ装置やレーザ加工機等においても入射レーザ光の集光状態のみを制御すれば良いため、不要な光学部材を省略でき、必要な光学部材だけを最適化するようにすることができる。

30 【0044】(14) 光軸方向の走査とそれに伴って発生する収差を相殺することが可能な前記光学素子が、前記対物レンズの瞳位置と共役な位置に配置されていることを特徴とする上記(11)乃至(13)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、軸上光束から軸外光束まで同様なパワー付加と非球面特性による収差補正を行うことができ、且つパワー付加による光軸方向の走査を行っても光学系の倍率変動のないレーザ走査装置を提供することができる。

40 【0045】(15) 光軸方向の走査とそれに伴って発生する収差を相殺することが可能な前記光学素子が、前記対物レンズの瞳位置或いはそれと共役な位置の近傍に配置されており、走査にビーム走査方式を用いる場合前記光学素子のパワー変化による集光光学系の焦点距離の変化(倍率変化)を画像表示時に電気・ソフト的に補正する機構を有していることを特徴とする上記(11)乃至(13)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、軸上光束から軸外光束まで略同様なパワー付加と非球面特性による収差補正を行うことができ、且つ標本に忠実な3次元像を構築することが可能となる。つまり、前記光学素子の位置が正確に瞳位置と一致していない場合は、パワー付加による光軸方向の走査を行うと、光学系の焦点距離(倍率)が変わり、そのままでは3次元像の構築時に問題が出る。しかし、光学系が分かっている場合、光軸方向の走査に伴う倍率変動が計算できるため、画像表示時に電気・ソフト的に補正することが可能とな

る。

【0046】(16) 光軸方向の走査とそれに伴って発生する収差を相殺することが可能な前記光学素子が、前記対物レンズの瞳位置或いはそれと共役な位置又はその近傍に配置されていない場合は、走査にステージ走査方式を用いるようにしたことを特徴とする上記(11)乃至(13)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、集光特性、結像特性は軸上のみを考慮すれば良く、また光軸方向の走査に伴う焦点距離の変動も気にしないで良いレーザ走査装置を提供することができる。

【0047】(17) 光軸方向の走査とそれに伴って発生する収差を相殺することが可能な前記光学素子が、予め記憶されたデータ(パワーと非球面特性)を順次実現するように制御されることにより、光軸方向に集光位置を走査して行くようにしたことを特徴とする請求項(3)又は(7)乃至(16)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、光軸方向の走査を必要とする装置のトータルのシステム制御が可能となる。

【0048】(18) 光軸方向の走査とそれに伴って発生する収差を相殺することが可能な前記光学素子が、そのパワーや形状を自由に変えることが出来る液晶レンズや液体レンズやマイクロミラーデバイス或いはそれらの組み合わせから成っていることを特徴とする請求項(3)又は上記(7)乃至(17)の何れかに記載のレーザ走査装置。これにより、機械的な機構を用いずに光軸方向の走査を行うことができ、又それに伴う集光性能や結像性能の低下をなくすことが出来る。

【0049】(19) レーザ光源と、該レーザ光源からの光束を標本等に集光させる対物レンズと、請求項1又は2又は上記(1)乃至(6)の何れかに記載の波面変換素子と、該波面変換素子を制御する制御装置とを有し、前記波面変換素子の位相分布を制御することにより、前記集光位置を光軸方向に走査させるようにしたことを特徴とするレーザ走査装置。これにより、機械的な機構を用いずにレーザ光の集光位置を光軸方向に走査させることが可能となる。

【0050】(20) レーザ光源と、該レーザ光源からの光束を標本等に集光させる対物レンズと、請求項1又は2又は上記(1)乃至(6)の何れかに記載の波面変換素子と、該波面変換素子を制御する制御装置とを有し、前記波面変換素子の位相分布を制御することにより、前記集光位置を光軸方向に走査させると共に、該走査により発生する収差を相殺するようにしたことを特徴とするレーザ走査装置。これにより、機械的な機構を用いずにレーザの集光位置の光軸方向の走査が可能となり、且つ光軸方向の走査を行った際に発生する収差を十分に相殺することが出来る。

【0051】(21) レーザ光源と、該レーザ光源からの光束を標本等に集光させる対物レンズと、請求項1又は2又は上記(1)乃至(6)の何れかに記載の波面変換

素子と、該波面変換素子を制御する制御装置と、前記波面変換素子の位相分布を制御することにより前記集光位置の移動に伴い発生する収差を相殺するようにしたことを特徴とするレーザ走査装置。これにより、機械的な機構を用いずにレーザ光の集光位置のx, y, z全方向の走査が可能となり、且つレーザ光の走査を行った際に発生する収差を十分に相殺することができる。

【0052】(22) レーザ光源と、該レーザ光源からの光束を標本等に集光させる対物レンズと、請求項1又は2又は上記(1)乃至(6)の何れかに記載の波面変換素子と、該波面変換素子を制御する制御装置を有し、前記対物レンズのイマージョン媒質の屈折率と前記標本等の屈折率が略同じか、或いは前記対物レンズのイマージョン媒質の屈折率が前記標本等の屈折率よりも小さい場合、前記波面変換素子の非球面特性が、そのパワーが光軸から離れるに従って大きくなり、且つその量が前記対物レンズの開口数と、前記対物レンズの焦点位置を基準として前記集光位置の光軸方向移動量の増加に伴って増加するように前記波面変換素子の位相分布を制御するようにしたことを特徴とするレーザ走査装置。これにより、レーザ顕微鏡の最大の特徴である3次元像を取得するための光軸方向の走査を行ってもそれに伴う収差の発生による解像度の低下を低減させることができ、良好な光学的スライス像を得ることができる。

【0053】(23) レーザ光源と、該レーザ光源からの光束を標本等に集光させる対物レンズと、請求項1又は2又は上記(1)乃至(6)の何れかに記載の波面変換素子と、該波面変換素子を制御する制御装置を有し、前記対物レンズのイマージョン媒質の屈折率が前記標本等の屈折率よりも大きい場合、前記波面変換素子の非球面特性はそのパワーが光軸から離れるに従って小さくなるが、同じ近軸曲率を持つ球面との差(乖離量)は前記対物レンズの開口数と、前記対物レンズの焦点位置を基準とした前記集光位置の光軸方向移動量の増加に伴って増加するように前記波面変換素子の位相分布が制御されるようにしたことを特徴とするレーザ走査装置。これにより、レーザ顕微鏡の最大の特徴である3次元像を取得するための光軸方向の走査を行っても、それに伴う収差の発生による解像度の低下を低減させることができ、良好な光学的スライス像を得ることが出来る。又、レーザトラップなどの標本操作に関しても収差によりトラップ力が低下するのを防ぐことが可能となる。

【0054】(24) 請求項1又は2又は上記(1)乃至(6)の何れかに記載の波面変換素子が、少なくとも1面の屈折面から成る所定のパワーを持った光学系の近傍に配置され、それらの合成パワーの変化により、前記対物レンズによるレーザ光束の集光位置を光軸方向に移動させることが可能であり、且つ前記波面変換素子が発生する光学系の収差を補正するような非球面特性を有していることを特徴とするレーザ走査装置。これにより、レ

ーザ走査装置の大きな特徴である光軸方向の走査を行っても、それに伴う収差の発生による集光性能の低下を低減させることができ、特にレーザ顕微鏡においては、良好な光学的スライス像を得ることができる。更に、回折レンズは逆分散特性を持ち、通常の屈折面と組み合わせると色収差が効果的に補正される。そのため、この構成を採ることにより、波長の異なるレーザ光を同時に入射させた場合や波長幅を持つレーザ光を入射させた場合でも色収差が生じず、レーザ光束の集光位置を光軸方向に移動させることが可能となる。但し、この場合の非球面特性は、組み合わせる屈折面のパワーやそこで発生する収差、用いる対物レンズのイメージング媒質や標本の状態(屈折率)により様々な特性を持つため、一概にその特性を決めることは出来ない。

【0055】

【発明の効果】上述の如く本発明によれば、任意の波面形状を形成することができ、またデカルト座標系或いは極座標系での或る種の画像データを液晶上に再現することにより光学素子としての機能を持たせることのできる波面変換素子を提供することができる。又、対物レンズ等の光学系と組み合わせることにより集光位置の移動及びそれに伴って発生する収差を相殺することのできる波面変換素子を提供することができる。

【0056】又、本発明によれば、機械的な機構を用いることなしに集光位置の光軸方向の走査を可能にすると共に、集光性能の低下をなくすことができ、特にレーザ走査型顕微鏡に適用したときは、解像度の低下しない良好な標本の光学的スライス像を得ることの出来るレーザ走査装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】集光位置の光軸方向の走査に伴って発生する球面収差とそれを相殺するための非球面特性を説明するための図である。

【図2】本発明に係るレーザ走査装置の基本構成と作用を説明するための図である。

【図3】本発明の第1実施例の概略構成図である。

【図4】回折レンズをホモジニアスタイプの細分化された液晶で実現する際の概念図である。

10

20

30

*【図5】回折レンズのキノフォームとその4段近似を説明するための図である。

【図6】本発明の第2実施例の概略構成図である。

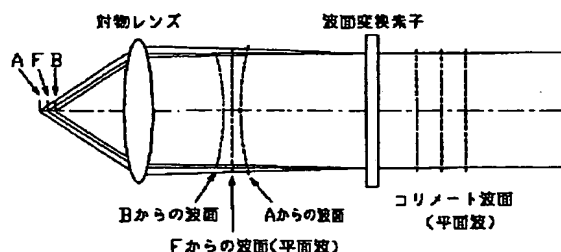
【図7】本発明の第3実施例の概略構成図である。

【図8】本発明の第4実施例の要部構成図で、(a)は液晶回折レンズと屈折レンズを組み合わせた図、(b)は液晶回折レンズの回折面に対向する外表面を屈折面として形成した場合の図である。

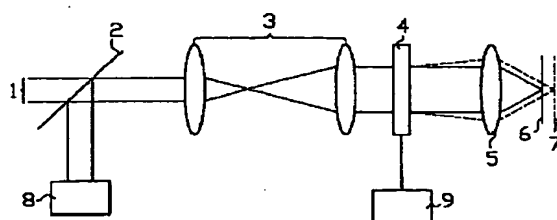
【符号の説明】

1	レーザ光束
2	光束分岐素子
3	ビームエキスパンダ
4	波面変換素子
5	対物レンズ
6	標本面(対物レンズの焦点位置)
7	対物レンズの焦点位置よりも遠く(対物レンズから離れる方向)の位置
8	検出器
9	制御装置
10	共焦点レンズ
11	共焦点ピンホール
12	励起光用の液晶回折レンズ(波面変換素子)
13	ダイクロイックミラー
14	スキヤン光学系
15	瞳投影レンズ
16	結像レンズ
17	蛍光用の液晶回折レンズ(波面変換素子)
18	信号処理系
19	ディスプレイ
20	画像保存装置
21	細分化された液晶による回折レンズ(波面変換素子)
21a	回折面
21b	基板
22	瞳リレー光学系
23	検出光学系
24	屈折レンズ
25	屈折面

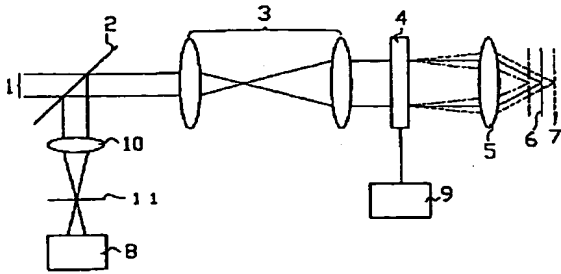
【図1】



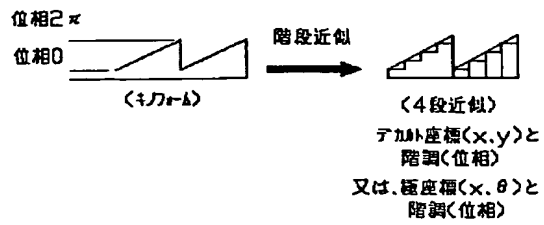
【図2】



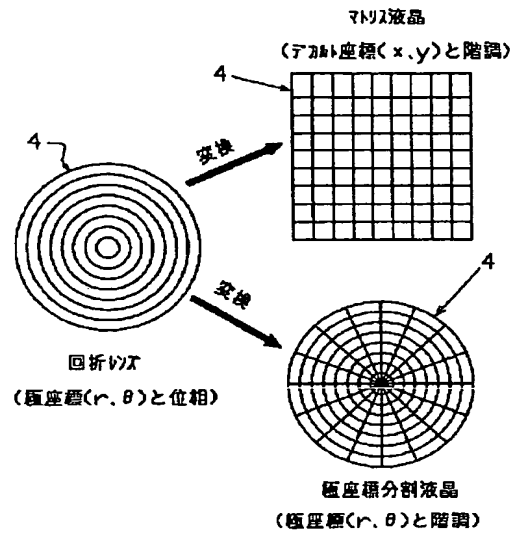
【図3】



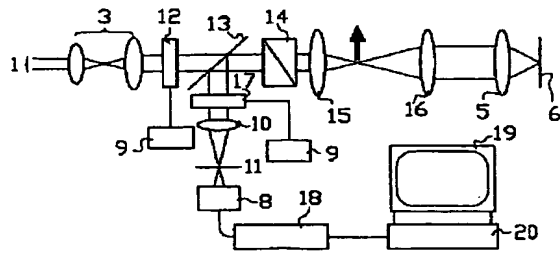
【図5】



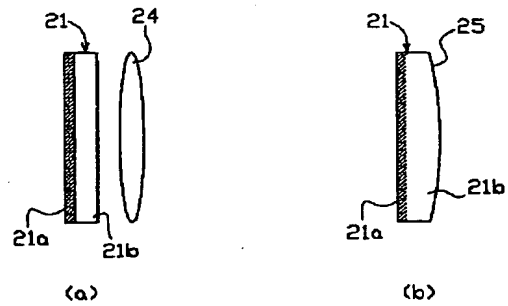
【図4】



【図6】



【図8】



【図7】

